

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-196436

(43)Date of publication of application : 06.08.1993

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

(21)Application number : 04-007796

(71)Applicant : SHISEIDO CO LTD

(22)Date of filing : 20.01.1992

(72)Inventor : YOSHIZAWA TORU  
KOMATSUBARA RYOHEI  
KATASE KAZUNOBU  
KANEKO OSAMU

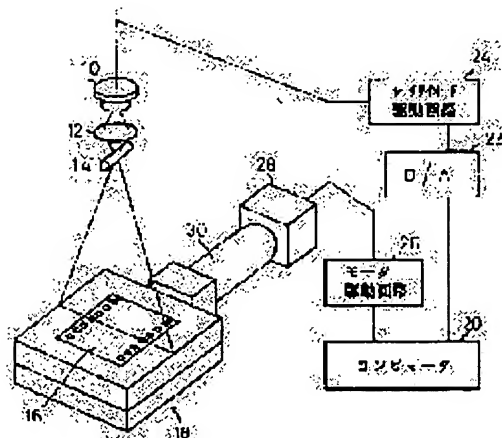
### (54) LATTICE PLATE FOR MEASURING THREE-DIMENSIONAL SHAPE, MANUFACTURING APPARATUS THEREFOR AND MEASURING APPARATUS OF THREE-DIMENSIONAL SHAPE

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a measuring apparatus for a three-dimensional shape which can measure the shape accurately, by a method wherein the transmittance of light in a first direction is made unvaried and the transmittance of light in a second direction intersecting the first direction is made to have a distribution wherein it is repeated while changing in conformity with a prescribed continuous function.

CONSTITUTION: A beam emitted from a semiconductor laser 10 is converged by a collimator lens 12 and turned into a slit-form light flux expanding only in a specified direction by a cylindrical lens 14. A photosensitive material is fixed on a motor-operated stage 18 and the laser light emitted from the semiconductor laser 10 is modulated in intensity by an instruction from a host computer 20 which is given through a D/A converter 22 and a laser diode drive circuit 24. Synchronously with this, the motor-operated stage 18 is driven through a motor drive circuit 26, a

motor 28 and a linear actuator 30, a strip-shaped pattern is drawn on the photosensitive film and subjected to a development treatment and thereby a sine lattice having an intensity distribution of a sine function is obtained. By using this lattice, a precise three-dimensional shape is obtained even for an object having large indentation.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.09.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3236051

[Date of registration] 28.09.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-196436

(43)公開日 平成5年(1993)8月6日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 1 B 11/24

識別記号

K 9108-2F

序内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4(全16頁)

(21)出願番号 特願平4-7796

(22)出願日 平成4年(1992)1月20日

(71)出願人 000001959

株式会社資生堂

東京都中央区銀座7丁目5番5号

(72)発明者 言 輝 徹

東京都府中市新町1-19-5 府中第2住宅1-102

(72)発明者 小松原 良平

東京都小金井市中町3-14-38 メゾン・ド・アロー小金井201

(72)発明者 片瀬 和伸

東京都小金井市東町2-21-8 スリーアロウテラス205

(74)代理人 弁理士 青木 朗 (外4名)

最終頁に続く

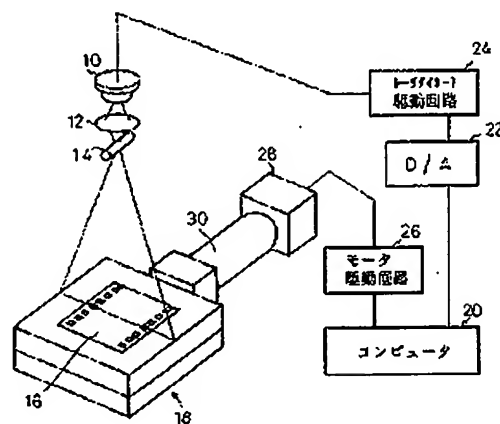
(54)【発明の名称】 3次元形状測定用格子板とその製造装置および3次元形状測定装置

(57)【要約】

【目的】 測定対象物の表面の3次元形状を測定する3次元形状測定装置、特に、測定対象物が生体であっても、支障なくその表面の微細な3次元形状を測定することの可能な3次元形状測定装置に関し、ロンキー格子を使用した従来の装置よりもさらに正確な形状測定が可能な3次元形状測定装置を実現することのできる測定用格子板とその製造装置ならびにその3次元形状測定装置を提供することを目的とする。

【構成】 半導体レーザ10、コリメータレンズ12、シリンドリカルレンズ14により感光フィルム16上に線状スポットを投影し、電動ステージ18の駆動に同期して半導体レーザ10の輝度を変調することによって、測定対象物上に正弦関数の強度分布を持つ格子を投影しうる正弦格子を得る。この格子を用いれば、幅の広い格子ピッチが要求される凹凸の激しい対象物についても精度の良い測定結果が得られる。

格子板製造装置の構成



(2)

特開平5-196436

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の方向における光の透過率が実質的に一定であり、該第1の方向と交叉する第2の方向における光の透過率が所定の連続関数に従って変化しつつ繰り返す分布を有することを特徴とする3次元形状測定用格子板。

【請求項2】 前記第2の方向の透過率分布における繰り返し単位のうち、所定の繰り返し単位の幅は他よりも実質的に異なる3次元形状測定用格子板。

【請求項3】 フィルム(16)の表面に線状スポットを投影する線状スポット投影手段(10、12、14)と、

該線状スポットの伸長方向と交叉する方向において、該フィルム(16)を該線状スポット投影手段(10、12、14)に対して相対的に移動せしめる移動手段(26、28、30)と、

該移動手段(26、28、30)による移動に同期して該線状スポットの強度を連続的に変化させる強度変調手段(20、22、24)とを具備することを特徴とする3次元形状測定用格子の製造装置。

【請求項4】 請求項1または2記載の格子板(34)と、

該格子板(34)を透過して測定対象(38)の表面に格子パターンを投影するために配置された光学手段(32、36)と、

該格子パターンを撮像して画像信号を出力する撮像手段(40)と、

該格子パターンの位相を所定値ずつ移相すべく該格子板(34)を所定値ずつ移動せしめる格子板移動手段(46、48)と、

該撮像手段(40)が出力する画像信号を該格子板移動手段に同期して複数の位相についてそれぞれ取り込み記憶する画像信号取込記憶手段(44)と、

該画像信号取込記憶手段(44)が記憶する複数の画像信号を解析して該測定対象(38)の3次元形状測定値を算出する解析手段(42)とを具備することを特徴とする3次元形状測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、測定対象物の表面の3次元形状を測定する3次元形状測定装置、特に、測定対象物が生体であっても、支障なくその表面の微細な3次元形状を測定することの可能な3次元形状測定装置に関する。生体表面のしわ等の微細な3次元形状が測定できれば、例えば、しわ取りクリームの効果の客観的な評価が可能となる。しかしながら、測定対象が生体である場合、種々の制約があり、また、深さが数10～100 $\mu$ mである小しわまで検出しその形状を測定するためには10 $\mu$ mまでの分解能が要求される。

2

【0002】 本発明は、このような制約のある測定環境下においても、要求される仕様を満足する測定が可能な3次元形状測定装置に言及する。

## 【0003】

【従来の技術】 本願出願人は、既に特願平2-215885号において、上述の測定環境下における測定に最適な3次元形状測定装置を提案している。この装置によれば、黑白2値のみの濃淡を有する格子(ロンキー格子)を用いて測定対象に格子を投影し、撮像して得られた信号をA/D変換したものは、正弦波状の濃淡を持つ格子(正弦格子)とみなせるとの発見にもとづき、格子パターン投影法(精密工学会誌、53、(3)、pp422-426)で使用されるロンキー格子を用いて得られた信号に縮定査法における解析手法を適用することによって、生体にとって安全上問題のあるレーザ光を使用することなく、除塵装置が不要であるので測定上の幾何学的制約が少なく、かつ、短時間で測定を完了することができる等の、生体の3次元形状測定に最適な環境で、縮定査法による精密な3次元形状測定値を得ることができるようになった。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 この装置においては、例えば0.33mmピッチの格子板を用いて約0.5mmピッチの格子を投影する場合の様に、格子のピッチが細かいという条件のもとで、表面の凹凸が激しくない対象物を測定する場合には精度の良い測定値が得られる。

【0005】 しかしながら、測定対象の表面の凹凸が激しい場合には以下の問題点があることが判明した。

1) 縮定査法では投影した格子の位相が算出されるが、これは $-\pi$ から $\pi$ までの値であるため、実際の座標算出を行う場合はこれらの位相の接続を行う必要がある。ところが、測定対象の凹凸が激しく、隣り合う画素間での段差が $2\pi$ 以上あった場合には位相の接続が不可能となる。この問題を解決するためには粗いピッチの格子を投影すればよいが、ピッチを粗くすると後に詳述するように投影されたロンキー格子を正弦格子と見なせなくなり、測定精度が劣化することが判明した。

【0006】 2) また、三次元計測では、測定対象を多方向から観察し、それぞれの三次元座標を結合し、全体の形状を把握することが望まれている。一般的な縮定査法では投影した格子にラベリングを行えないため、算出される座標は相対的なものである。しかし、多方向からの計測を行うためには、空間上に設定した一点を原点とする絶対座標の算出が不可欠である。

【0007】 これらの問題を解決するためには、投影して撮像した段階で強度分布が正弦状に近く、またそのピッチを変化させてもその正弦性に影響がない格子を必要とする。さらに、その格子はラベリングが可能のように中心に何らかの目印が付加されている必要もある。したがって本発明の目的は、前述の装置よりもさらに正確な

(3)

特開平5-196436

3

形状測定が可能な3次元形状測定装置を実現することのできる測定用格子板とその製造装置ならびにその3次元形状測定装置を提供することにある。

【0008】本発明の他の目的は、絶対的な基準位置からの絶対座標を算出することの可能な3次元形状測定装置を実現することのできる測定用格子板とその製造装置ならびにその3次元形状測定装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】前述の目的を達成する本発明の3次元形状測定用格子板は、第1の方向における光の透過率が実質的に一定であり、該第1の方向と交差する第2の方向における光の透過率が所定の連続関数に従って変化しつつ繰り返す分布を有することを特徴とするものである。

【0010】また、この格子板は、前記第2の方向の透過率分布における繰り返し単位のうち、所定の繰り返し単位の幅は他よりも実質的に異なることが好適である。本発明の3次元形状測定用格子板の製造装置は、フィルムの表面に線状スポットを投影する線状スポット投影手段と、該線状スポットの伸長方向と交差する方向において、該フィルムを該線状スポット投影手段に対して相対的に移動せしめる移動手段と、該移動手段による移動に同期して該線状スポットの輝度を連続的に変化させる輝度変調手段とを具備することを特徴とするものである。

【0011】本発明の3次元形状測定装置は、前述の格子板と、該格子板を透過して測定対象に格子パターンを投影するために配置された光学手段と、該格子パターンを撮像して画像信号を出力する撮像手段と、該格子パターンの位相を所定位置ずつ移相すべく該格子板を所定位置ずつ移動せしめる格子板移動手段と、該撮像手段が出力する画像信号を該格子板移動手段に同期して複数の位相についてそれぞれ取り込み記憶する画像信号取込記憶手段と、該画像信号取込記憶手段が記憶する複数の画像信号を解析して該測定対象の3次元形状測定値を算出する解析手段とを具備することを特徴とするものである。

【0012】

【作用】所定の連続関数に従って変化しつつ繰り返す透過率分布を有する格子板を用いて投影することにより、格子のピッチが大きい場合であっても、より正弦関数に近い強度分布の縞パターンを投影することができ、それにより正確な測定値が得られる。

【0013】また、所定の繰り返し単位のみについて幅を異ならせることによって格子の番号の識別が可能となり、絶対座標を得ることができるようになる。

【0014】

【実施例】

格子板の作製

図1は本発明に係る3次元形状測定用格子板の製造装置の一実施例を表わすブロック図である。波長780nm、

4

出力20mWの半導体レーザ10から出射されたビームはコリメータレンズ12で集光され、シリンドリカルレンズ14で特定の方向のみに広がるスリット状光束となる。感光材としては35mm白黒感光フィルム（富士写真フィルム製ミニコピーフィルム）を使用し、電動ステージ18上に固定する。半導体レーザ10から出射されるレーザ光はホストコンピュータ20からの指令によりD/A変換器22およびレーザダイオード駆動回路24を経て強度変調されるが、これと同期してモータ駆動回路26、モータ28およびリニアアクチュエータ30を経て電動ステージ18を駆動することによって縞状のパターンを感光フィルム16上に描画する。作製されるパターンの幅は約2.3mmである。以上の作業は暗室内で行い、その後感光フィルム16を現像処理することによって格子を得る。現像に際しては、現像時間、液温等を一定に保つとともに、フィルムの感光特性も考慮した。

【0015】なお、図1に示した装置は半導体レーザ10等の光学系を固定し、フィルム16を移動する構成であるが、フィルム16を固定して光学系を移動する構成としても良いことは勿論である。一般にレーザ光強度とフィルムの明暗は線形関係ではないため、任意の濃度パターンの格子を作るためには、半導体レーザ注入電流とフィルムの階調との関係を求める必要がある。そのため、注入電流をリニアに増加させることによって作製したパターンをプロジェクタで投影し、CCDカメラで撮影を行い、画像入力装置でA/D変換した結果から図2に示すようなフィルム階調と注入電流の関係を得た。この結果をもとにして注入電流とA/D変換結果との対応表を作製し、この関係に基いて半導体レーザ10と電動ステージ18を制御することによって、任意の濃度パターン、およびピッチを持つ格子を作製した。

3次元形状の測定

図3は本発明の3次元形状測定装置の一実施例の概略構成を表わす図である。

【0016】プロジェクタ32からの光は格子板34を経てプロジェクタレンズ36で集光されて測定対象上に格子パターンが結像される。格子板34は図1で説明した装置により、正弦関数状の濃度を有する格子パターンを投影するように調整されたものである。CCDカメラ40はこの測定対象38上に結像された格子パターンを撮影可能な位置に設置されている。CCDカメラ40が出力する画像信号はコンピュータ42からの指令に従って画像入出力装置44へ担記憶され、コンピュータ42へ入力される。

【0017】格子移動用モータ46は、コンピュータ42からの制御信号に基づいてモータ駆動装置48が出力する駆動電流により、格子板34上の格子のピッチの1/4に相当する長さを単位として格子板34を光軸に直角な方向へ移動させるように設計されている。プロジェクタレンズ36も、モータ駆動装置48で駆動されるブ

(4)

特開平5-196436

5

6

ロジックタレンズ移動用モータ50で光軸方向に移動可能である。

【0018】プロジェクタ32、格子移動用モータ46、プロジェクタレンズ移動用モータ50、およびCCDカメラ40は前後方向移動用ステージ52上の所定の位置に固定されており、前後方向移動用ステージ52は左右方向移動用ステージ54上に載せられ、左右方向移動用ステージ54は上下方向移動用ステージ56上に載せられている。したがって装置全体の位置はつまみ56、60、62を手動調節することにより調節可能である。また、駆動モータ等の駆動手段を設けて、コンピュータ42からの制御信号により調節可能とすることもできる。

【0019】コンピュータ42のキーボード（図示せず）から測定スタートの指令を入力すると、コンピュー

$$\alpha = \tan^{-1} (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2) \quad (1)$$

により2次元平面上の各点(x, y)における強度 $I_1, I_2, I_3, I_4$ から算出される。ただし、 $I_1 \sim I_4$ は投影する格子の位相を90°ずつずらした時の各点(x, y)における強度である。なお、この例では、4通りの位相について測定した強度から $\alpha$ を算出しているが、それ以上の数の位相について測定し、それから $\alpha$ を算出することも可能であり、そうすることによって精度が向上する。

【0021】このようにして算出された $\alpha$ の値を使って、各点(x, y)に対応する測定対象表面上の点の三次元座標値X, Y, Zは

$$X = -s \cdot x \quad (2)$$

$$Y = b + s \cdot (-c - y \cos \phi) \quad (3)$$

$$Z = a + s \cdot (-d + y \sin \phi) \quad (4)$$

$$s = (-b \cos \theta) / u \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} (p \alpha / a) \quad (6)$$

$$u = (-c - y \cos \phi) \cos \theta + (-d + y \sin \phi) \sin \theta \quad (7)$$

$$\phi = \tan^{-1} (b / a) \quad (8)$$

$$c = a \cdot m \quad (9)$$

$$d = b \cdot m \quad (10)$$

モータ42から格子移動信号が出力され、モータ駆動装置48および格子移動用モータ46を介して格子板34が鉛直方向に動く。格子板34が格子のピッチ1/4の距離だけ動く毎に画像信号が取り込まれ、格子の位相が1/4ずつずれた4枚の画像データが入力される。

【0020】コンピュータ42は、小松原良平、吉澤徹、"縞走査を導入した格子パターン投影法"、縞密工学会誌、55、(10) p1817~1822、1989に記載された手法に従って、入力された画像データおよび定数から3次元形状の測定値を算出する。この手法の概略を以下に説明する。縞走査法によれば、正弦波状の強度分布を有する縞を測定対象に投影し、投影方向とは異なる方向から観察するとき、測定対象の形状に応じて縞の位相が変調されて観察される。観察する2次元平面

上の各点(x, y)における変調分すなわち位相 $\alpha$ は※で算出することができる。ただし $a$ は測定対象付近に定められた基準点からプロジェクタレンズ36の主点までの距離、 $b$ はプロジェクタレンズ36の主点からCCDカメラ40のレンズの主点までの距離、 $m$ は画像の長さ

#### 正弦格子とロンキー格子

前述の特開平2-215885号に記載の測定装置の構成は図3と同様であるが、格子板34として、白黒2値のみの格子（ロンキー格子）を使用して格子を投影し、それを正弦格子とみなして処理することにより縞走査を表現していた。しかし、この場合には、計測結果に生じる誤差が投影する格子のピッチに依存するとともに、ピッチの拡大につれて誤差も増大する。これは投影された格子の正弦性がそのピッチによって変化しているためであることが判明したので、この点についての解析結果を説明する。

【0022】投影する格子を矩形波と考えた場合、その強度分布は以下のように級数展開することができる。

【0023】

※【数1】

$$\Gamma(\phi) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin \frac{2(2n+1)\pi\phi}{T}}{2n+1} \quad (11)$$

【0024】ここで、 $T$ は周期、 $\phi$ は位相である。この格子はレンズのOTF（光学伝達関数）によって変調を受け、次のような強度分布で投影される。

【0025】

【数2】

(5)

特開平5-196436

$$\Gamma(\phi) = \frac{4}{\pi r} \sum_{n=0}^r a(n) \sin \frac{2(2n+1)\pi\phi}{T} \quad (12)$$

ただし、

$$a(x) = \frac{r-2x-1}{2x+1}$$

【0026】ただし、 $r$ を画像上の計測範囲におけるの  
格子の解像限界とし、省略化のため、OTFは空間周波  
数の増加に対して一定の割合でコントラストが低下する  
ように作用すると考える。図4に式(11)と式(1  
2)による強度分布を示す。これより白黒の二値の強度  
しか持たない格子もレンズによって投影されることによ

り変調され、エッジ部分が劣化していることがわかる。  
式(12)に示した格子を平面に投影し縮定査法によ  
てえた位相分布 $\phi$ は、次式のように表せる。

【0027】

【数3】

$$\phi_r = -\tan^{-1} \frac{\sum_{n=0}^r a(n) (-1)^n \cos \frac{2(2n+1)\pi\phi}{T}}{\sum_{n=0}^r a(n) \sin \frac{2(2n+1)\pi\phi}{T}} \quad (13)$$

【0028】また、正弦状の強度分布を持つ縞パターン  
を投影した場合の位相分布 $\phi_s$ は次式のようになる。 ※

【0029】

【数4】

$$\phi_s = -\tan^{-1} \frac{\cos \frac{2\pi\phi}{T}}{\sin \frac{2\pi\phi}{T}} \quad (14)$$

【0030】式(12)に示すような格子パターンを用  
いて縮定査法を行ったときに発生する誤差は $\phi_r$ と $\phi_s$   
の差であり、これを $\Delta\phi$ とすると次のように表せる。 ★

★【0031】

【数5】

$$\Delta\phi = \tan^{-1} \frac{\sum_{k=0}^{r/2} \left[ a(k) \sin \frac{8k\pi\phi}{T} + a(k+1) \sin \frac{8(k+1)\pi\phi}{T} \right]}{\sum_{k=0}^{r/2} \left[ a(k) \cos \frac{8k\pi\phi}{T} - a(k+1) \cos \frac{8(k+1)\pi\phi}{T} \right]} \quad (15)$$

【0032】図5は周期 $T$ を $2\pi$ 、解像限界 $r$ を100  
として式(15)を計算したものである。これより、ロ  
ンキー格子を投影し、それを正弦格子とみなして縮定査  
法を適用した場合には、ノコギリ状の誤差が生じ、それ  
は投影した格子の周期の4倍の成分を持つことがわか  
る。図6は誤差の大きさと投影する格子の周期 $T$ の關係  
を示したものである。実際の計測では、CCDカメラお  
よび画像入力装置内で標本化、量子化が行われるため、  
図6の誤差は計測範囲を256画素で標本化するととも  
に、縞の強度を256階調で量子化して計算した。図6  
より、格子の周期が短くなるにしたがって誤差の量が徐

々に小さくなり、周期が10画素以下の部分では標本化  
等の影響により誤差がかなり減少していることが解る。

【0033】以上の解析より、ロンキー格子を導入した  
縮定査法は、投影する格子のピッチが細かいときには格  
子の正弦性に起因する誤差が減少し、十分計測可能であ  
る。しかし、計測精度を確保しつつ奥行き方向の計測レ  
ンジを拡大するためには、ピッチの太い格子が不可欠で  
あり、そのためには図1の装置で作製される正弦格子を  
使用する必要があることが解る。

【0034】図1の装置により作製した格子の透過率分  
布とその格子を使って平坦な物体を計測した結果をそれ



(6)

特開平5-196436

9

10

それ図7の(a)および(b)に示す。図7(a)より、作製した格子によるパターン強度分布が正弦状になっており、また図7(b)より、計測結果も平坦になっていることが解る。また、比較のために図7と同じピッチのロンキー格子を作製し、投影した結果を図8

(a)および(b)に示す。図8(a)によれば、本来明暗の二値した持たない格子がレンズを経て投影されると変形を受け、一見すると正弦波状の形状になっているが、実際にこれを用いて計測を行うと図8(b)のように周期的な誤差が発生していることが解る。誤差は投影した格子のピッチの4倍の周期で発生しており、これは誤差解析結果と一致している。

【0035】図9は製作したロンキー格子および正弦格子を使った場合の計測誤差と格子ピッチの関係を示したものである。ピッチが小さい場合は両者とも誤差が少なく、ロンキー格子でも十分計測が可能であるが、ピッチが大きくなるとロンキー格子は使用できなくなることが解る。それに対して正弦格子はピッチが大きくなっても誤差の増加の割合が小さく、大きなピッチでも計測ができる。このため、凹凸の変化が大きい測定対象を精度を劣化させずに計測することが可能となる。

【0036】図10～図13は種々のピッチの白黒格子(ロンキー格子)および正弦格子を使用してコインの3次元形状を測定した結果をワイヤフレームモデルで表わす図である。図10はピッチ0.2mm(投影面で0.3mm)の白黒格子を使った場合の計測結果であり、凹凸の変化より格子のピッチが細かいため、計測が正しく行われていない(位相とび)ことがわかる。

【0037】図11はピッチ0.5mm(投影面で0.8mm)の白黒格子を用いた計測例を示す。格子のピッチが十分細かいため白黒二値の値した持たない格子でも縞走査法を導入して計測できることが解る。しかし、凹凸がより激しい対象を計測する場合にはさらにピッチの粗い格子が必要である。図12はピッチ1.0mm(投影面で1.6mm)の白黒格子を用いた計測結果を示す。図12にみられる如く、格子のピッチが粗くなると格子が正弦状でない誤差が増え、結果に周期的な誤差が発生している。

【0038】図13は図12と同じピッチ(1.0mm)の正弦格子を用いた結果であり、格子の誤差もなく割れ

ていることが解る。前述したように、正弦格子を用い\*

$$\begin{aligned} I_0 &= \sin \theta, & I_1 &= \sin(\theta + \pi/2) \\ I_2 &= \sin(\theta + \pi), & I_3 &= \sin\{(2/3)\theta + (3/2)\pi\} \quad (16) \\ \phi &= \tan^{-1}\{(I_1 - I_3)/(I_0 - I_2)\} \\ &= \tan^{-1}\{-\cos(5/6)\theta \cdot \cos(1/6)\theta / \sin \theta\} \quad (17) \end{aligned}$$

その他の区間についても同様にして求めることができる。

【0043】実際の座標算出は以下の手順で行う。

1) 図16に示した太い縞の重なり合う区間の $\theta$ と $\phi$ の対応表を上記の手法で予め計算しておく。

\* 本結果は、ピッチの増大に対する誤差の増加の割合が小さいため、対象の凹凸に合ったピッチの格子を選んで位相とびを起こさずに計測することが可能になる。図14に、ビーナスの石膏像の顔面の計測結果をワイヤフレームモデルで示す。

#### 格子のラベリング

一般的に干渉縞やモアレ縞に縞走査法を用いる場合には、対象物体上に投影された縞パターンを次の値として求めることができないため、算出される座標は物体上の特定点からの相対的な値となっている。対象を一方のみから測る場合にはこれで十分であるが、物体形状を全周方向から捉えるためには計測装置を複数台使用して多方向から同時に計測したり、対象を移動させて広範囲な計測を行う必要があり、その結果を用いて複数の座標データをつなぎ合わせて全体形状を計測することが必要とされる。こうした場合には、データのつなぎ合わせのための指針となる絶対的な原点が必要となる。

【0039】特開平2-215885号において使用された格子パターンは等間隔の格子であり、次数付けのための目印は付加されていないが、本願発明では従来の格子パターン投影法(吉澤隆、鈴木賢策; 格子パターン投影法による3次元形状の自動測定、精密工学会誌、53、3(1987)66)と同様に中心の縞を太くすることによって、縞次数の決定を行えるようにした。

【0040】使用する格子の透過率分布を図15(a)に示す。中心の太い縞のピッチはその他の縞の1.5倍である。図の格子を1/4ピッチずつシフトし、位相を計算したものが図15(b)であるが、本来は直線的に変化すべき位相が太い縞の部分で変形していることが解る。この影響を取り除くために次のような補正を行う。

【0041】図16は太い縞が重なり合っている部分における強度 $I_0, \dots, I_4$ を表わす図である。 $I_0$ から $I_4$ は位相を $\pi/2$ ずつシフトさせた波形である。この部分を $\pi/2$ ずつ分割し、それぞれについて補正値を計算する。例えば0から $\pi/2$ の区間の位相は次のように求めることができる。ただし、 $\theta$ は投影した格子の位相、 $\phi$ は縞走査によって計算される位相の値であり、 $I_0, I_1, I_2, I_3, I_4$ は位相が $\pi/2$ ずつシフトした4枚の画像の強度である。

【0042】

2) 撮影した4枚の画像から式(1)により画面全体の位相を算出する。

3) 太い縞の中心を位相の原点とし、その影響を受けて位相が歪んでいる部分の補正を1)で求めた対応表をもとにして行う。

(7)

特開平5-196436

11

12

【0044】4) 補正された位相値をもとに式(2)～(10)により三次元座標の算出を行う。図17に正弦状の透過率分布を持ち、その中心に次数付けのための太い縞を持つ格子を使用した計測例を示す。対象は乗用車のシフトノブであり、測定範囲は100mm×100mm、投影面上での格子のピッチは約5mmである。図17を参照すれば、太い縞の部分の補正が良好に行なわれていることが解る。計測結果に発生している小さな凹凸はシフトノブ表面の人工皮革の影響である。この様に、従来困難であった凹凸の大きなものの計測が可能になっている。

【0045】

【発明の効果】以上述べてきたように本発明によれば、測定対象の凹凸の程度に応じた任意のピッチで、精度の良い計測が可能であり、かつ、絶対座標を得ることもできる三次元形状測定用格子板とその製造装置およびそれを使用した三次元形状測定装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る三次元形状測定用格子板の製造装置のブロック図である。

【図2】半導体レーザの注入電流と投影パターンの像のA/D変換結果との関係を表わす図である。

【図3】本発明に係る三次元形状測定装置のブロック図である。

【図4】白黒格子の透過率分布と投影された格子の強度分布の解析結果を表わす図である。

【図5】図4の格子を使用した場合に発生する位相の測定誤差の分布の解析結果を表わす図である。

【図6】誤差の大きさと格子のピッチとの関係の解析結果を表わす図である。

【図7】図1の装置で作製された正弦格子による格子パターンの強度分布とその格子を用いて平坦な物体の形状を測定した結果を表わす図である。

【図8】製作されたロンキー格子による格子パターンの強度分布とその格子を用いて平坦な物体の形状を測定した結果を表わす図である。

【図9】製作されたロンキー格子と正弦格子を使用した場合の計測誤差と格子ピッチとの関係を表わす図であ

る。

【図10】0.2mmピッチのロンキー格子を使用してコインの形状を測定した結果をワイヤフレームモデルで表わす図である。

【図11】0.5mmピッチのロンキー格子の場合の図10と同様な図である。

【図12】1.0mmピッチロンキー格子の場合の図10と同様な図である。

【図13】1.0mmピッチ正弦格子の場合の図10と同様な図である。

【図14】本発明の装置によるピーナス像の顔面の測定結果をワイヤフレームモデルで表わす図である。

【図15】ラベリングされた正弦格子の強度分布とその格子を1/4ピッチずつシフトして位相を計算した結果を表わす図である。

【図16】ラベリングされた部分のI。～I。の波形図である。

【図17】ラベリングされた格子による測定結果を表わす図である。

【符号の説明】

10…半導体レーザ

12…コリメータレンズ

14…シリンドリカルレンズ

16…感光フィルム

28…モータ

30…リニアアクチュエータ

32…プロジェクタ

34…格子板

36…プロジェクタレンズ

38…測定対象

40…CCDカメラ

46…格子移動用モータ

50…プロジェクタレンズ移動用モータ

52…前後方向移動用ステージ

54…左右方向移動用ステージ

56…上下方向移動用ステージ

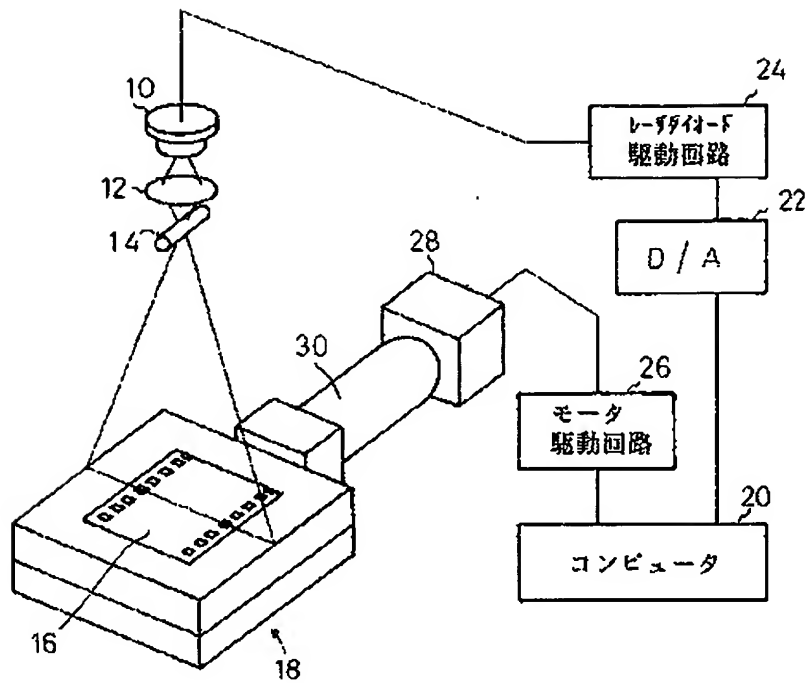
58, 60, 62…つまみ

(8)

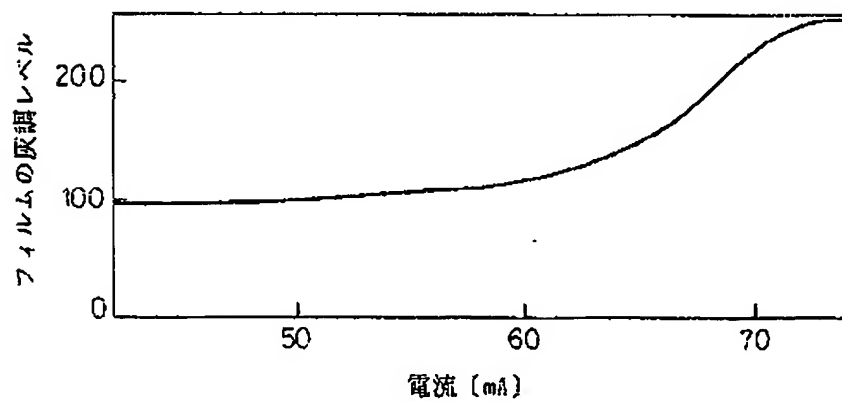
特開平5-196436

【図1】

## 格子板製造装置の構成



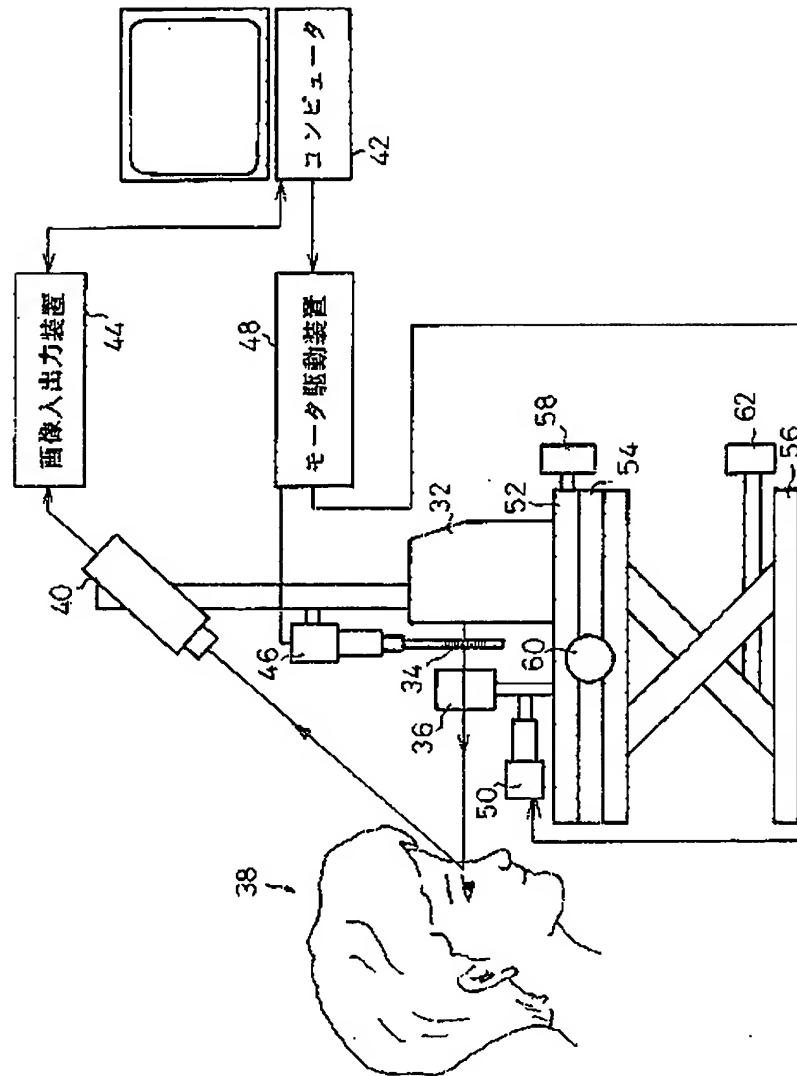
【図2】



(9)

特開平5-196436

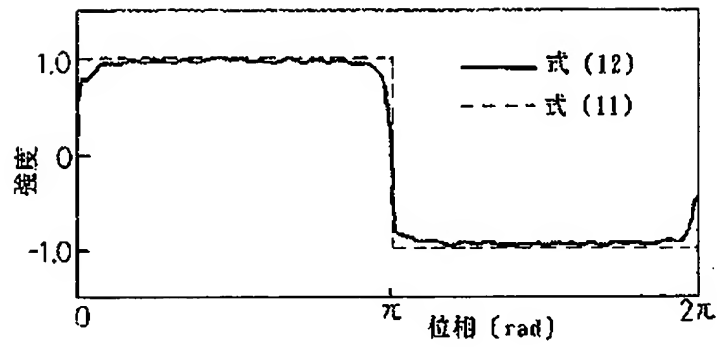
【図3】



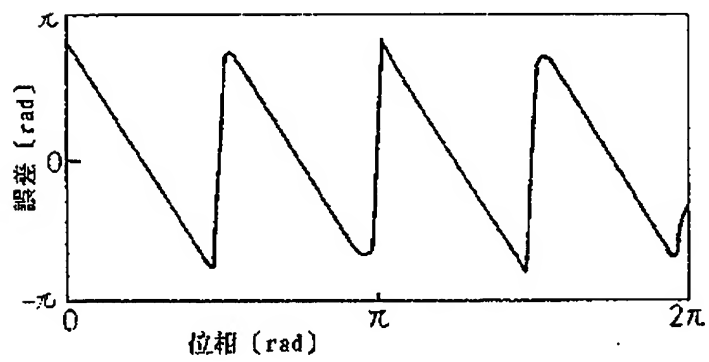
(10)

特開平5-196436

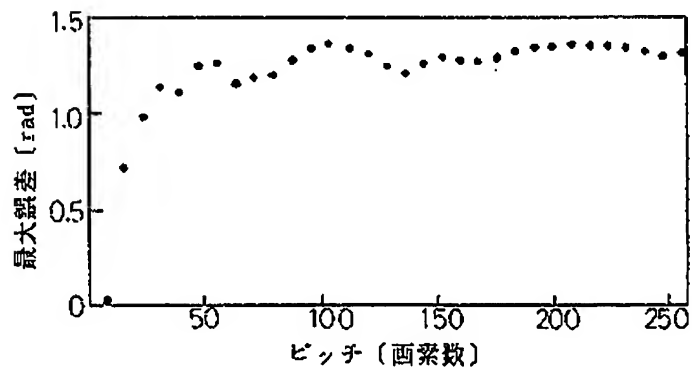
【図4】



【図5】



【図6】



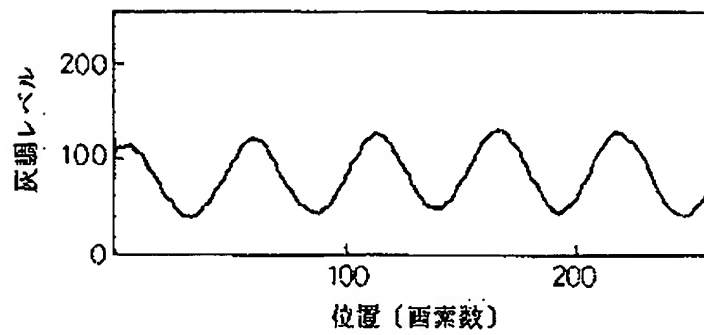
(11)

特開平5-196436

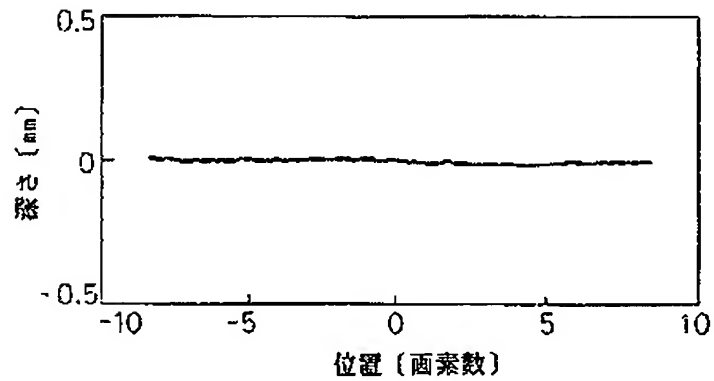
【図7】

正弦格子による測定結果

(a)



(b)



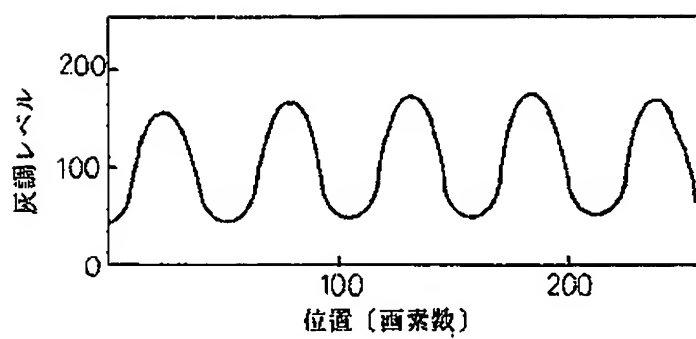
(12)

特開平5-196436

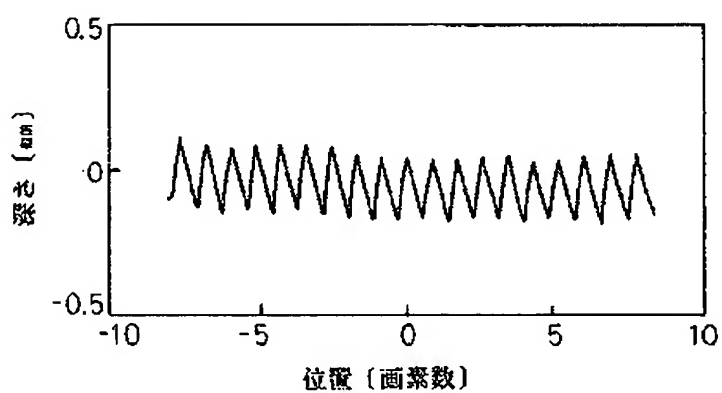
【図8】

ロンキー格子による測定結果

(a)



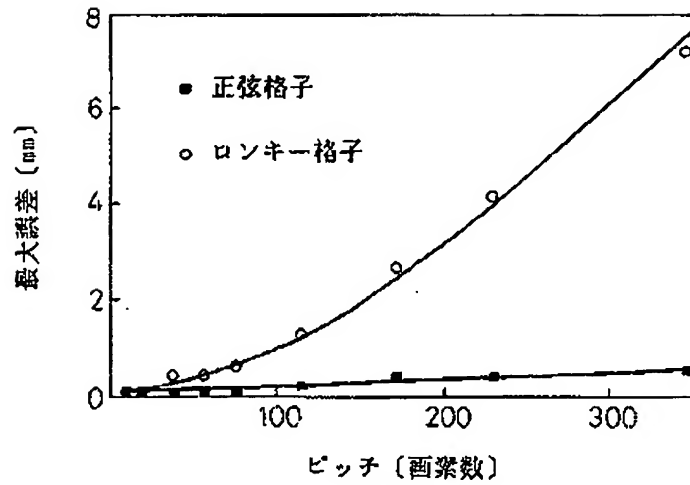
(b)



(13)

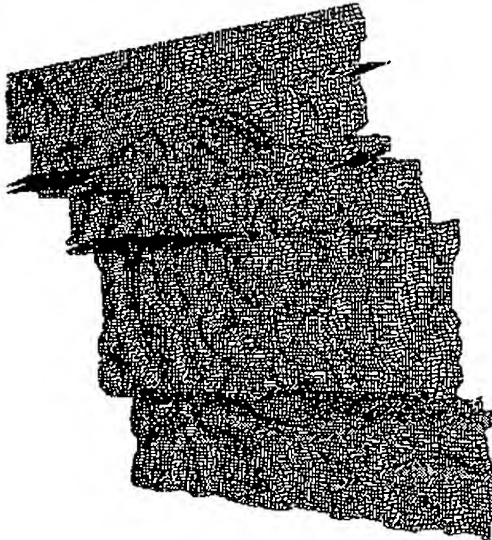
特開平5-196436

【図9】



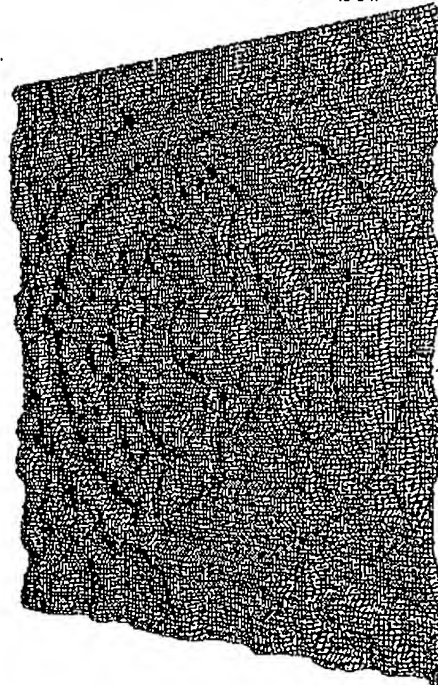
【図10】

0.2mmピッチロンキー格子による結果



【図11】

0.5mmピッチロンキー格子による測定結果



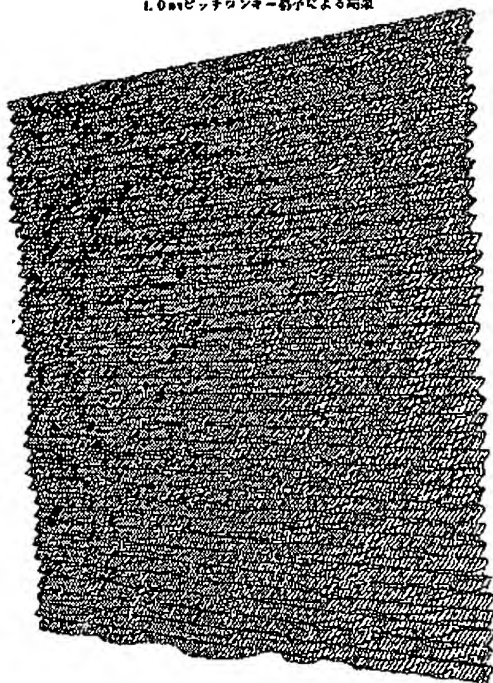


(14)

特開平5-196436

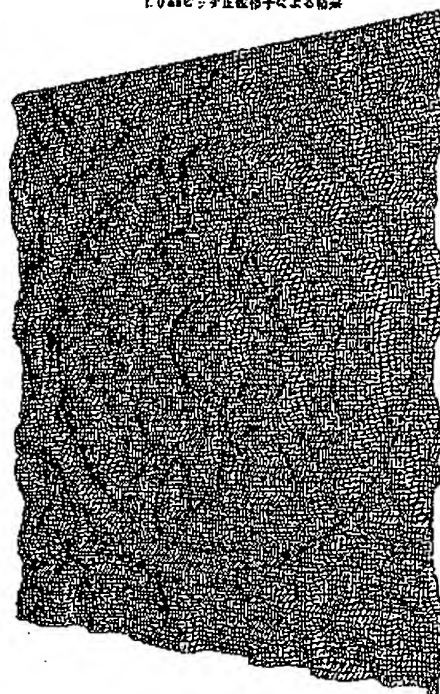
【図12】

1.0μピッチワンキ一粉子による結晶

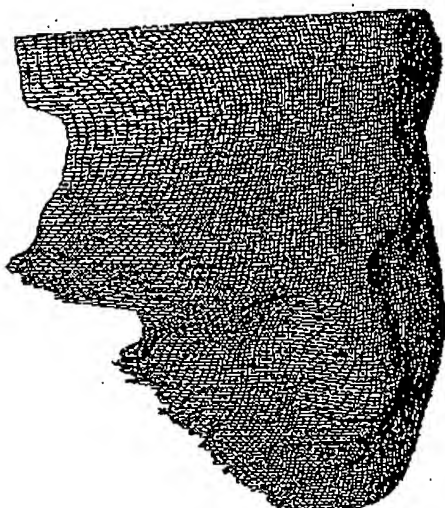


【図13】

1.0μピッチ正酸粉子による結晶



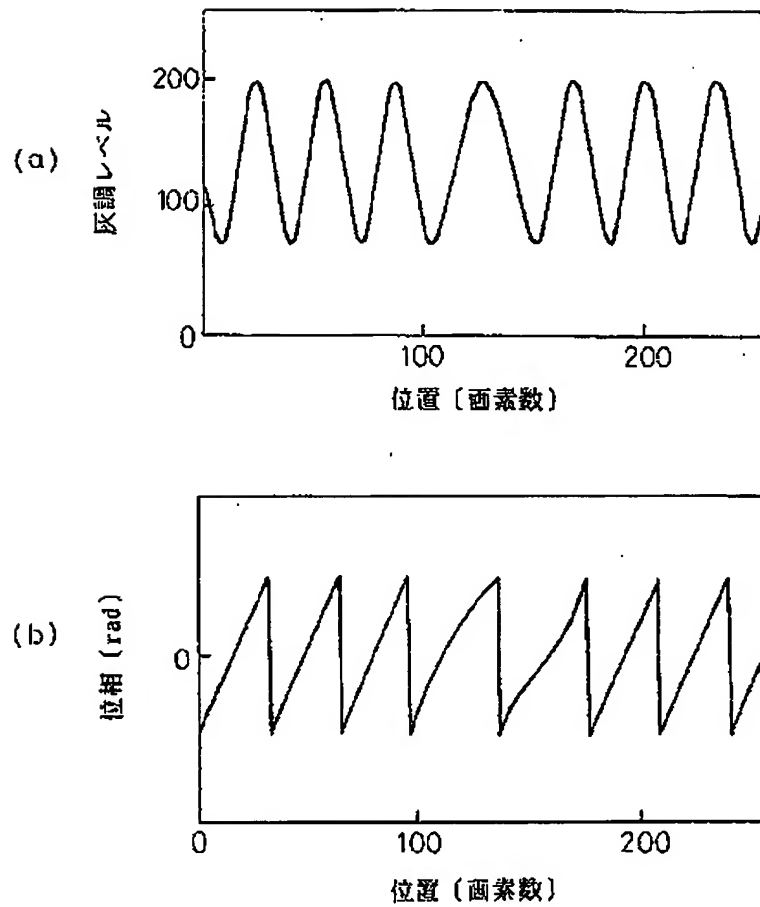
【図14】



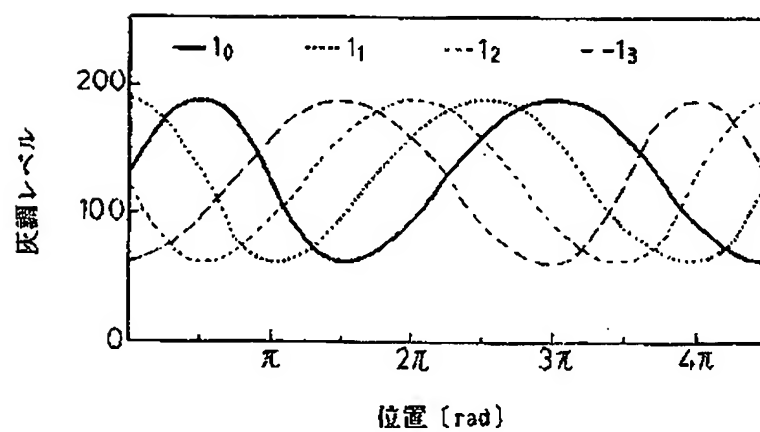
(15)

特開平5-196436

【図15】



【図16】



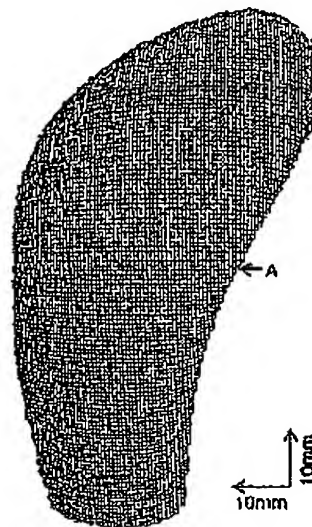
(15)

特開平5-196436

【図17】

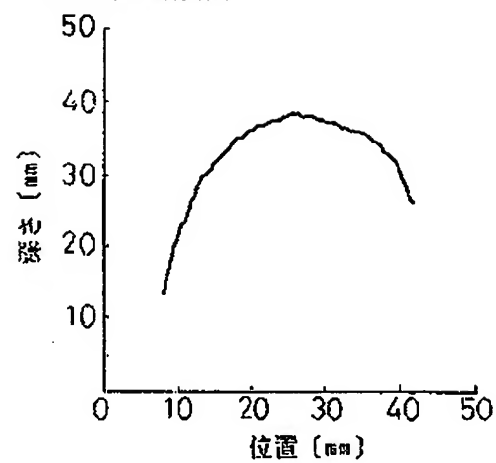
ワイヤーフレームモデル

(a)



(b)

Aにおける断面図



フロントページの続き

(72)発明者 金子 治  
埼玉県蕨市錦町6-4-24